



鄂尔多斯盆地周缘及西峰地区延长组长 8、 长 6 沉积物源

——来自岩石地球化学的证据

罗静兰^{①*} 史成恩^{①②} 李 博^① 李忠兴^② 李 健^{①③} 韩永林^{①②}
赵惊蛰^{①②} 杜金良^{①②} 戴亚权^{①③} 杨斌虎^{①③}

(^①大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 西安 710069; ^②中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司勘探开发研究院, 西安 710021; ^③中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第一采油厂, 延安 717208)

摘要 鄂尔多斯盆地西南部地区长 8 沉积期的物源主要来自西南方向, 其次为东南方向. 长 6 沉积期除来自和长 8 相同方向的物源外, 还受到盆地东北与东部方向物源的影响, 悦乐-玄马-固城-合水-宁县一带为混合物源区. 长 8 和长 6 地层的稀土元素特征均显示出轻、重稀土分馏中等到强、弱~中等铕负异常的右倾模式, 表明源区主要与分异较好的陆壳物质有关. 地球化学特征与源区母岩性质及其构造背景分析结果表明, 长 8 沉积母岩主要来自盆地西南缘过渡型大陆和基底隆起陆块以及少量混合再旋回造山带源区的变质岩与沉积岩以及少量火成岩. 长 6 段除来自盆地西南缘过渡型大陆和基底隆起陆块源区外, 盆地东北缘基底隆起陆块的结晶基底及沉积盖层也有贡献. 长 6 母岩区以含较多长英质岩性为特征.

关键词 古水流与物源 岩石地球化学 母岩性质与构造背景 长 6 与长 8 段 鄂尔多斯盆地

古流向与物源分析在确定沉积物搬运路径、源区性质及构造背景等方面具有重要作用. 自 20 世纪 80 年代末以来, 物源研究技术开始向多样化发展, 沉积岩地球化学示踪物源技术开始得到应用^[1]. 经过 20 多年的发展, 沉积地球化学方法在探讨物质来源、识别大地构造背景、反演古气候和古环境等方面已收到了显著成效^[2~6].

近年来针对鄂尔多斯盆地西南部西峰地区延长组长 8 和长 6 段的石油钻探已获得重大突破. 然而对该区延长组沉积体系、古水流与物源方向、源区性质等问题, 长期存在不同认识^[7~9], 在一定程度上制约了油气勘探的进程. 本研究尝试利用沉积岩的微量

元素地球化学特征, 结合露头剖面古水流方向测定、砂岩中骨架矿物与重矿物组合及其分布特征等, 分析了鄂尔多斯盆地周缘及西峰地区长 8 与长 6 沉积物源方向、源区母岩性质及其构造环境. 旨在为研究区油气勘探部署提供理论依据.

1 地质背景

鄂尔多斯盆地为一向西缓倾斜的单斜, 倾角不足 1°. 盆内断层极不发育, 局部发育鼻隆构造. 上三叠统延长组是盆地内重要的含油气层系, 是在盆地持续拗陷和稳定沉降过程中堆积的一套河流-湖泊相陆源碎屑岩沉积体系. 由下至上可分为 10 个段, 各段之间

收稿日期: 2006-08-04; 接受日期: 2007-01-16

国家重点基础研究发展计划项目(编号: 2003CB214603)、国家自然科学基金项目(批准号: 40172055)与教育部长江学者和“油气盆地”创新团队发展计划项目(编号: IRT0559)共同资助

* E-mail: jlluo@nwu.edu.cn

1) 陈安宁. 陕甘宁盆地西南部晚三叠世水下冲积扇和湖底扇沉积. 石油参考资料(长庆油田勘探开发研究院), 1982, 5: 37—41

均为连续沉积形成的整合接触。其中长 10 到长 7 是湖盆形成时期; 长 6 到长 3 为湖盆进入以三角洲建设为主的发展时期; 从长 2 沉积期开始, 湖盆逐渐萎缩, 至长 1 期湖盆衰亡, 随之结束了延长组的沉积过程。

西峰地区与盆地西缘冲断带(图 1)的东祁连逆冲褶皱带相邻, 后者与西南侧的西秦岭构造带一起组成东祁连双侧造山带, 横剖面上以轴部为中心两侧逆冲断层带具有背向逆冲特征^[10]。地层分布上, 南部为中元古界秦岭群^[10], 西南部由中元古界陇山群与葫芦河群、震旦系—奥陶系李子园群^[11]、上奥陶统陈家河组及二叠系—三叠系碎屑岩组成^[12]。其中, 陇山群、葫芦河群与上奥陶统陈家河组构成 3 个大型逆冲推覆体, 总体表现为由西南向东北方向逆冲的特点^[10]。盆

地东北缘隆起由相间排列的复背斜与复向斜组成, 复背斜主要出露前寒武系结晶基底^[8,13], 复向斜则卷入了古生界和中生界^[14,15]。

晚三叠世由于印支运动的影响, 盆地西缘逆冲褶皱带向北东方向的推挤对鄂尔多斯盆地西南缘产生了巨大的负荷作用力和推挤力, 形成以盆地西部为沉降中心、西陡东缓的古地理格局。延长组长 10—长 8 沉积期, 由于盆地西部大幅度上升, 地形坡度陡, 物源供给充足, 形成以近源快速堆积的粗粒冲积扇与扇三角洲沉积体系^[16-19]; 而盆地东部缓坡带则发育曲流河三角洲沉积体系。之后随着以长 7 “张家滩页岩”为代表的最大湖进期的结束, 长 6 沉积期盆地内的沉积发生了明显变化。盆地内部底床下沉作用减缓, 湖盆开始收缩, 湖盆西岸除发育少量扇三角洲沉积外, 主要为辫状河三角洲沉积; 而盆地东部的抬升速度明显加快, 东部物源大大加强, 从而在盆地东部形成多个巨型曲流河三角洲沉积^[20]。西峰地区延长组长 8、长 6 正是在此沉积构造背景下形成的一套扇三角洲前缘亚相—浅湖亚相(长 8)中厚层细—中砂岩、薄层粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩与泥岩沉积, 及辫状河三角洲前缘亚相—半深湖亚相(长 6)中厚层细—粉细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩与浊积砂岩沉积²⁾。

2 剖面描述与样品分析方法

2.1 剖面描述

本研究对鄂尔多斯盆地西南缘 2 条延长组露头剖面(平凉崆峒山砾岩剖面、华亭县汭水河剖面)共计 4989.9 m 进行了实测(包括古流向测定), 对盆地西南缘策底坡延长组砾岩剖面 and 朱家庄剖面以及盆地东缘 7 条延长组剖面(剖面位置见图 1)的长 6 与长 8 地层(共计约 2257 m)进行了地质调研及古流向测量。砾岩剖面主要测定砾石最大扁平面及所在地层的产状, 砂岩主要测量各种交错层理前积层及所在地层的产状。共测定古流向点 45 处, 获得 1137 个古流向数据, 每个测点的古流向数据在 20~30 个之间。利用 PC99 古流向数据分析软件, 将实测古流向数据输入, 以 10°为间隔自动生成古流向玫瑰图。

2.2 样品及分析方法

利用偏光显微镜对西峰地区 22 个钻井岩心及 33

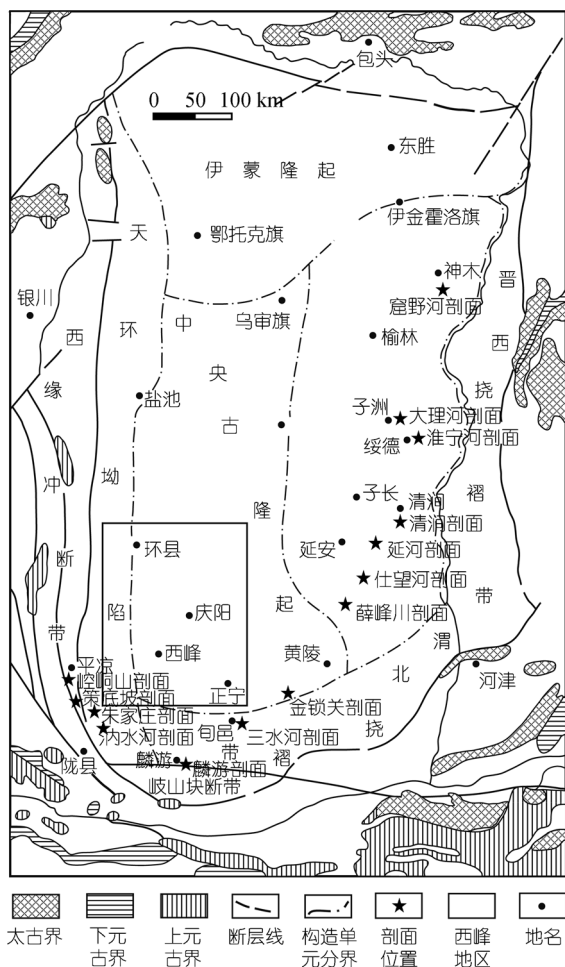


图 1 西峰-合水地区与盆地周缘露头剖面位置示意图
(据文献[13]修改)

1) 罗静兰, 李继红. 西峰油田长 8 沉积相研究. 西北大学/长庆油田分公司勘探开发研究院. 2004. 98—113

2) 罗静兰. 西峰地区长 6、长 8 沉积相研究. 西北大学/长庆油田分公司勘探开发研究院. 2006. 208—230

个盆地周缘露头剖面长 6 与长 8 砂岩铸体薄片中的骨架矿物成分及其含量进行了计数(point counting)定量统计, 每个薄片的统计点数在 200~300 个点. 对西峰地区 26 个长 6 段和 55 个长 8 段砂岩岩心样品及盆地周缘剖面 15 个长 6 段和 18 个长 8 段砂岩样品进行了重矿物分析, 方法是称取样品 20 g, 粗粉碎后用 10% 的盐酸溶液浸泡 24 h 后再煮 10~15 min, 用蒸馏水冲洗干净并烘干, 然后粉碎为原样品颗粒大小(如细砂岩即磨成细砂级粒度), 再用重液进行分离, 将分离后的样品用 α -溴代钠粘在薄片上, 晾干后在双筒实体显微镜下鉴定.

对采自露头剖面及西峰地区钻井岩心的长 8、长 6 段 25 个泥岩与砂岩样品在西北大学大陆动力学国家重点实验室 Elan6100DRC 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)上进行了微量与稀土元素测试, 样品经 BHVO-1, BSR-1 和 AGV-1 国际标样监控, Co, Ni, Zn, Ga, Rb, Y, Zr, Nb, Hf, Ta 和 LREE 等元素分析相对误差 < 5%, 其他元素相对误差介于 5%~15% 之间. 收集到长庆油田分公司勘探开发研究院 29 组研究区砂岩与泥岩及源区岩石的稀土元素测试数据. 稀土分析数据统一经球粒陨石 [21] 标准化后求得各项地球化学参数.

3 古水流与物源方向分析

3.1 野外露头剖面古流向测定结果

古流向测定结果显示, 长 8(图 2(a))与长 6(图 2(b))

沉积期的古水流方向具有一定继承性, 其古流向平面变化显示出一定规律: 盆地西南缘古流向主要为北东方向, 其次为北西方向. 盆地东缘的东北部→东部→东南部古流向依次以西南方向→正西方向→北西方向和正北方向为主.

3.2 砂岩骨架矿物成分特征

长 6 与长 8 砂岩薄片骨架矿物的定量统计结果表明, 盆地东缘各剖面长 6 和长 8 砂岩类型与矿物成分相似, 砂岩类型单一, 主要为长石砂岩(图 3(a), (b)). 砂岩以石英含量较低(平均 32.9%)、长石含量较高(平均 41.3%)和岩屑含量低(平均 2.7%)为特征. 岩屑中沉积岩岩屑(平均 1.6%, 主要为泥岩和粉砂质泥岩) > 变质岩岩屑(平均 0.6%, 主要为千枚岩、板岩、石英岩和变质硅质岩) > 喷出岩(平均 0.5%, 主要为英安岩和安山岩, 少量流纹岩, 偶见粗面岩和凝灰岩)岩屑.

与盆地东缘剖面相比, 盆地西南缘剖面长 8 和长 6 砂岩类型较复杂, 主要为长石砂岩和岩屑质长石砂岩, 少量长石质岩屑砂岩(图 3(a), (b)). 砂岩中石英含量稍有增加(平均 35.5%), 长石含量明显降低(平均 32.9%)、岩屑含量明显增高(平均 10.8%). 岩屑类型及其含量也与盆地东缘砂岩略有差别, 以变质岩(平均 4.4%, 主要为石英岩、片岩等高级变质岩, 千枚岩、变质砂岩)和沉积岩岩屑(平均 3.7%)为主, 其次为火成岩(平均 2.4%, 以火山喷发岩岩屑为主, 隐晶岩

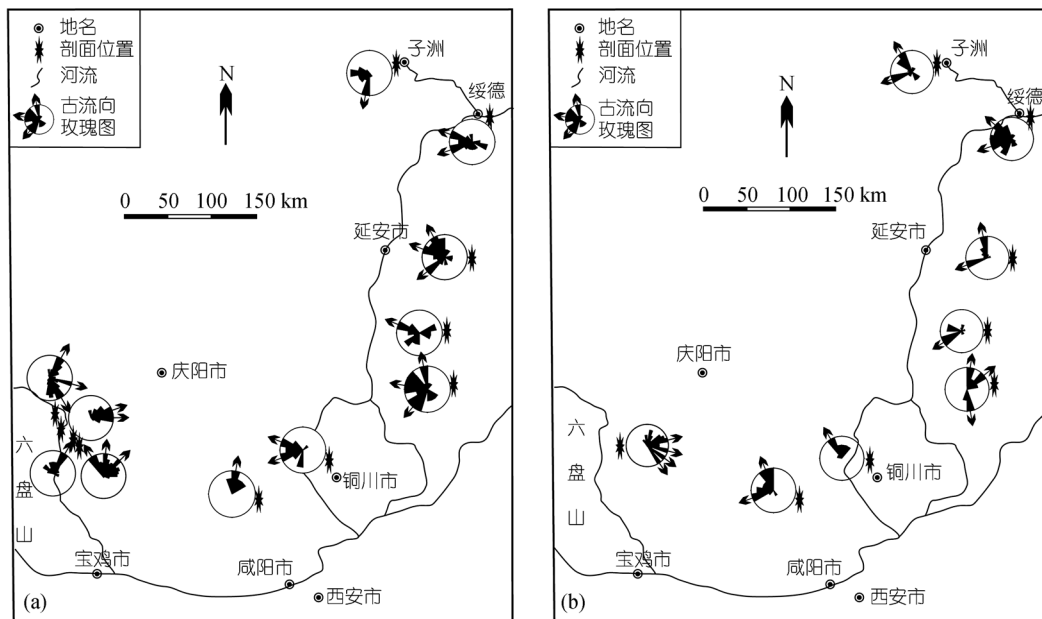


图 2 盆地周缘露头剖面长 8(a)与长 6(b)地层实测古流向平面分布图

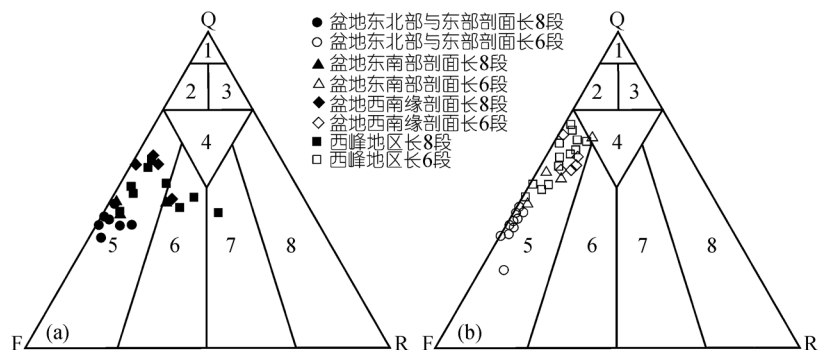


图 3 长 8(a)与长 6(b)段砂岩类型图 [22]

1. 石英砂岩; 2. 长石石英砂岩; 3. 岩屑石英砂岩; 4. 长石岩屑石英砂岩; 5. 长石砂岩; 6. 岩屑长石砂岩; 7. 长石质岩屑砂岩; 8. 岩屑砂岩

岩屑次之, 含少量花岗质岩屑。沉积岩岩屑中以含大量白云岩岩屑为特征。

西峰地区长 8 砂岩主要为细砂岩, 少量中细砂岩。砂岩中石英平均含量 38.0%, 长石平均含量 28.4%, 岩屑平均含量 11.8%。其砂岩类型(图 3(a))、砂岩骨架颗粒成分及其特征、特别是岩屑种类及其含量(变质岩平均 4.7%, 沉积岩平均 3.6%, 喷出岩平均 3.2%)、以及砂岩的结构特征(成分成熟度和结构成熟度均较低)等与盆地西南缘纳水河剖面长 8 砂岩十分相似, 表明纳水河剖面与西峰地区长 8 段可能来自距物源区相对较近的相同源区。

与长 8 砂岩相比, 西峰地区长 6 砂岩的粒度较细, 以粉细砂岩和细砂岩为主, 砂岩的矿物成熟度与结构成熟度较高。砂岩类型较单一, 主要为长石砂岩(图 3(b)), 以石英含量较高(平均 44.5%)、长石含量(平均 25.9%)和岩屑含量较低(平均 3.4%)为特征。岩屑以浅变质岩(平均 1.8%)和沉积岩岩屑(平均 1.3%)为主, 沉积岩岩屑中几乎不含碳酸盐岩屑, 与盆地西南缘纳水河剖面长 6 砂岩基本相同(图 3(b)), 但砂岩中石英含量较高, 岩屑成分及其含量、结构等特征更接近盆地东北缘和东缘剖面同层位砂岩。暗示西峰地区长 6 沉积物源除与长 8 具有相同物源外, 可能有来自盆地东北和东部方向物源的输入。

3.3 砂岩重矿物成分特征

砂岩中的重矿物组合类型及其分布可作为物源区分析的重要依据 [23-26]。盆地东北部剖面(大理河剖面、淮宁河剖面)和东部剖面(延河剖面、仕望河剖面、薛峰川剖面)长 8、长 6 砂岩中的重矿物组合及其含量比

较相近, 以淡红色石榴石为主(平均占重矿物总量的 44.3%), 其次为无色石榴石(平均占 17.5%)和楣石(平均占 12.0%), 少量绿帘石(占 9.5%)、锆石(占 6.8%)和白钛矿(占 3.0%)。部分砂岩中可见磁铁矿、板钛矿及重晶石。盆地东南部剖面(金锁关剖面、三水河剖面)砂岩中的重矿物则以无色石榴石为主(平均占 67%), 其次为锆石(平均 13.7%), 少量白钛矿(平均占 6.3%)与绿帘石(平均 1%)。盆地西南缘各剖面重矿物组合存在一定差异: 策底坡剖面以黝帘石(平均 40%)、无色石榴子石(平均 26.2%)和白钛矿(平均 10.8%)为主; 崆峒山剖面以锆石(平均 38%)、白钛矿(平均 29%)和无色石榴子石(平均 18%)为主; 纳水河剖面以无色石榴子石(51.5%)、白钛矿(10.2%)和锆石(3.9%)为主。

西峰地区长 8 砂岩以无色石榴石为主(平均 58.5%), 其次为锆石(平均 21.1%), 白钛矿 14.3%。其与盆地西南缘纳水河剖面、崆峒山剖面长 8 砂岩中的重矿物具有一致性, 表明长 8 沉积物源主要来自盆地西南部。长 6 砂岩则以锆石为主(平均占 41.3%), 其次是白钛矿(平均占 31.3%)和无色石榴石(平均占 25.6%), 以及少量电气石(平均占 2.0%), 与长 8 段存在明显差异(图 4), 说明长 6 沉积期的物源与长 8 物源存在一定差异。这种差异最有可能是长 6 沉积期除来自与长 8 沉积期相同的物源外, 还有其他方向物源的输入。

3.4 砂岩骨架矿物与重矿物平面分布规律

3.4.1 骨架矿物在平面上的分布规律

西峰地区长 8 砂岩的骨架矿物在平面上的分布具有一定的规律性¹⁾(图 5(a))。西南部呈南西-北东向

1) 罗静兰. 西峰地区长 6、长 8 沉积相研究. 西北大学/长庆油田分公司勘探开发研究院. 2006. 26—30

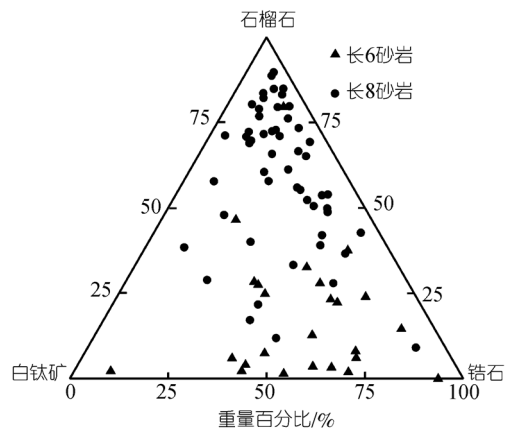


图 4 西峰地区长 6 与长 8 砂岩主要重矿物组成图

展布的砂体带,其砂岩中长石与岩屑的含量由西南向东北方向逐渐降低,长石平均含量由西南缘纳水河剖面的 40%降为西峰地区的 32%和庆阳地区的 31%;岩屑含量,由西南缘策底坡剖面的 45%向东北方向至庆阳地区降为 29%;砂岩中石英含量的变化

则显示出由西南向东北方向逐渐增加的趋势(由策底坡剖面的 24%过渡到庆阳地区的 29%)。此外,西北部石沟驿-环县地区砂岩中的岩屑含量也较高。砂岩骨架矿物的这种规律性变化表明,西峰-合水地区长 8 沉积物源主要来自西南方向,西北方向也有少量物源。

长 6 砂岩中骨架矿物的分布除在西峰地区表现出与长 8 砂岩具有相似的分布规律外,局部地区表现出一些差异:在西峰地区东北部的白豹-南梁地区、盆地东南部旬邑-长武-宁县-合水地区砂岩中的岩屑含量较高,并由东北部、东南部向庆阳-西峰地区表现为长石与岩屑的含量逐渐降低、石英含量逐渐增加的趋势(图 5(b))。暗示长 6 沉积期,西峰地区除西南方向的主要物源外,还受到来自盆地东北方向和东南方向物源的影响。

3.4.2 重矿物在平面上的分布规律

长 8 段重矿物在西峰地区西南部的平凉-崇信-泾川-肖金-镇原地区和东南部宁县-正宁-合水地区以高

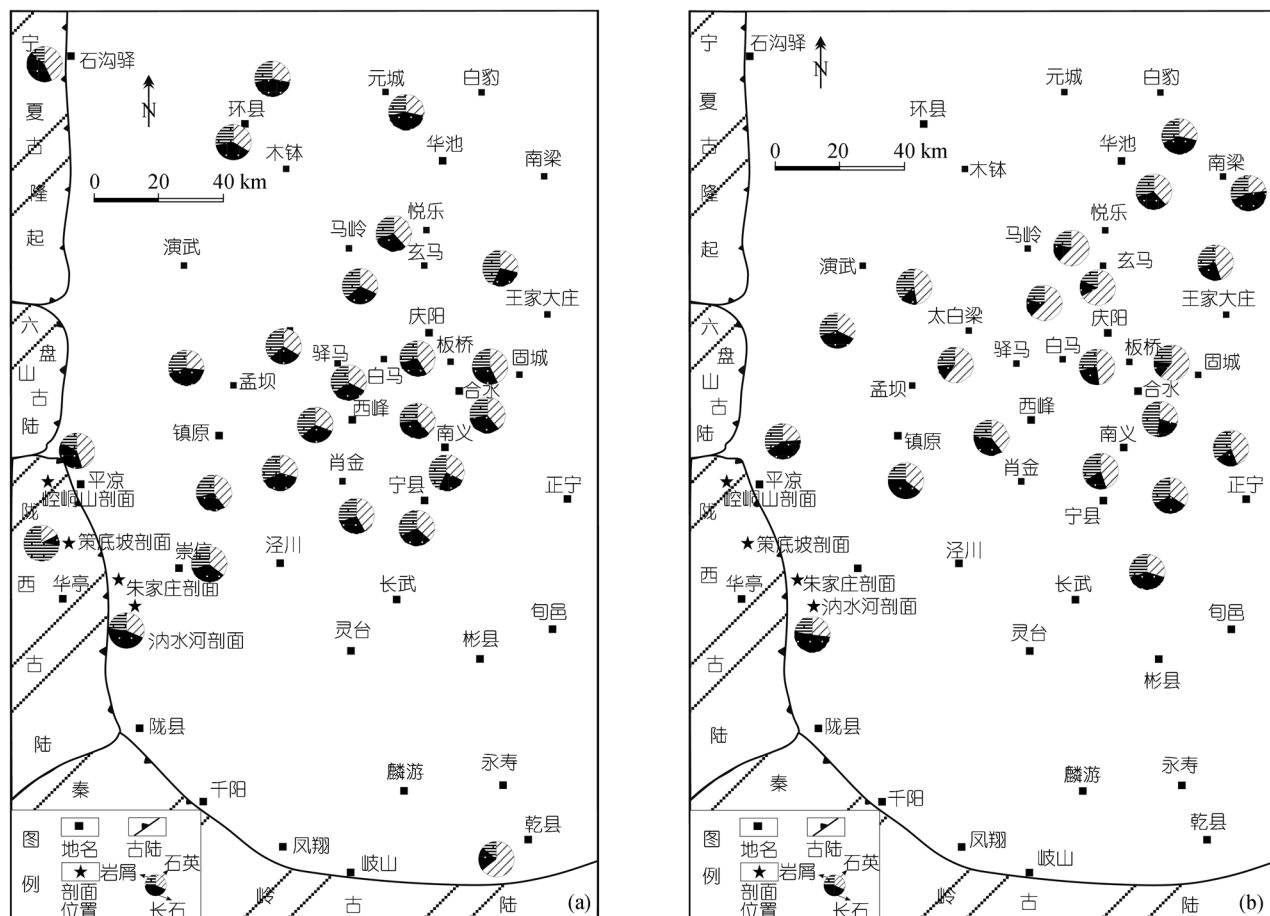


图 5 长 8 砂岩(a)与长 6 砂岩(b)骨架矿物平面分布图

石榴石(平均 61.9%)、低锆石(平均 19.8%)组合为特征, 并分别自盆地西南部和东南部向西峰-庆阳地区表现为稳定重矿物锆石含量逐渐增加, 相对不稳定矿物石榴石含量逐渐减少的分布规律。西北部石沟驿-环县地区砂岩中的石榴石含量较高(图 6(a)). 显示长 8 物源主要来自西南方向, 其次来自东南方向和西北部。

长 6 段石榴石含量高值区与长 8 沉积期相似, 西南部泾川-肖金-镇原地区仍为高石榴石含量(平均 65%~70%)区, 并由该地带沿北东方向至庆阳地区表现出石榴石含量逐渐降低(平均由 65%降低到 34%)、锆石含量增加(平均由 15%增加到 36%)的趋势; 西部孟坝-太白梁地区、东北部玄马-悦乐地区白钛矿含量(平均为 35%~41%)明显较其他地带(5%~25%)高。东部王家大庄、合水-固城、宁县-正宁地区锆石含量(平均 49.1%~59.5%)明显高于悦乐-庆阳地区(平均

41.2%~ 50.0%)(图 6(b)). 暗示长 6 沉积期, 西峰地区除西南方向、西北与东南方向物源外, 可能有来自盆地东北方向物源的输入。

4 岩石地球化学特征

4.1 稀土元素特征

沉积岩中的稀土元素(REE)以及 Th, Sc, Cr, Co 等微量元素难溶、相对稳定, 主要呈颗粒物质搬运, 并快速进入细粒沉积物中, 在沉积和变质作用过程中具有较强的抗迁移性^[5], 后期的风化作用、成岩作用和蚀变作用对其的影响效应相对较弱^[27], 其稀土元素特征主要受控于物源区的岩石组成^[28,29], 可反映源岩的地质特征^[29,30]。因此, 沉积岩中的稀土元素特征在追踪物源方面可以提供源区母岩组成的信息^[6], 并能与沉积学示踪源区研究结果进行相互印证。

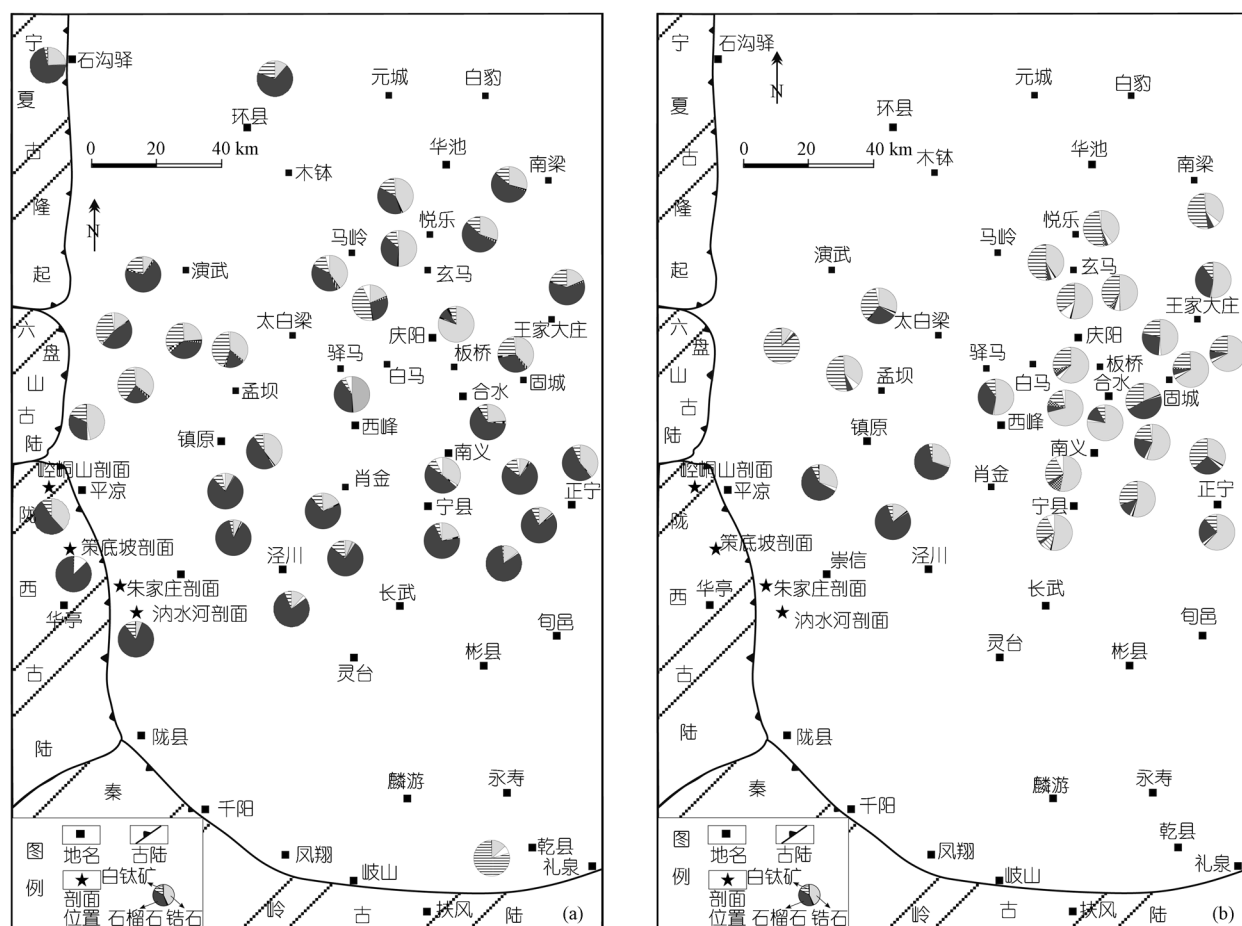


图 6 长 8 砂岩(a)与长 6 砂岩(b)重矿物平面分布图

4.1.1 长 8 地层

盆地周缘剖面与西峰地区长 8 地层显示了相对一致的稀土特征, 总体上稀土总量中等-较高, 轻、重稀土分馏强, 呈现铈中等~弱负异常的右倾稀土谱型(图 7(a)). 其中, 盆地东北部与东部剖面的 4 组长 8 样品的稀土总量 $\Sigma\text{REE}=(179.30\sim262.04)\times10^{-6}$, 其 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=11.19\sim13.76$; $\delta\text{Eu}=0.66\sim0.72$; 东南部剖面 3 组长 8 稀土总量 $\Sigma\text{REE}=(130.18\sim213.82)\times10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=8.13\sim16.69$, $\delta\text{Eu}=0.63\sim0.85$; 西峰地区 9 组长 8 段样品的稀土元素总量 $\Sigma\text{REE}=(92.1\sim219.21)\times10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=9.96\sim17.48$, $\delta\text{Eu}=0.56\sim0.86$.

4.1.2 长 6 地层

盆地周缘剖面与西峰-合水地区长 6 地层的稀土元素也呈现了与长 8 地层类似的轻重稀土分馏较强、铈中等~弱负异常的右倾模式(图 7 (b)), 但稀土元素总量变化范围明显较长 8 地层大. 其中, 盆地东南部与南部剖面 10 组长 6 样品的稀土总量 $\Sigma\text{REE} =$

$(56.64\sim197.97)\times10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=8.86\sim15.04$, $\delta\text{Eu}=0.65\sim1.05$; 盆地西南缘纳水河剖面 2 组长 6 样品的稀土总量 $\Sigma\text{REE}=(106.89\sim152.29)\times10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=13.47\sim13.89$, $\delta\text{Eu}=0.69\sim0.85$; 西峰地区 4 组长 6 样品的稀土总量 $\Sigma\text{REE}=(162.03\sim203.93)\times10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=8.22\sim11.78$, $\delta\text{Eu}=0.59\sim0.73$. 它们基本表现了较为一致的稀土特征. 然而, 盆地东北部与东部剖面 10 组长 6 样品的稀土总量明显高于其他地区, 且有较大的变化范围, 其 $\Sigma\text{REE}=(109.84\sim303.17)\times10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=10.26\sim20.19$; $\delta\text{Eu}=0.62\sim0.96$, 反映出源区除有与盆地东南部、南部以及西南部等源区相同物质外, 还具有高稀土总量源区物质的供给.

4.1.3 西南缘与东北缘源区

10 组盆地西南缘中元古代陇山群与葫芦河群花岗片麻岩、二长花岗岩、斜长角闪岩的稀土元素特征表现为稀土总量中等~较高、稀土分配模式为轻、重稀土分馏强、铈中等~弱负异常的右倾谱型(图 7(c)), 其

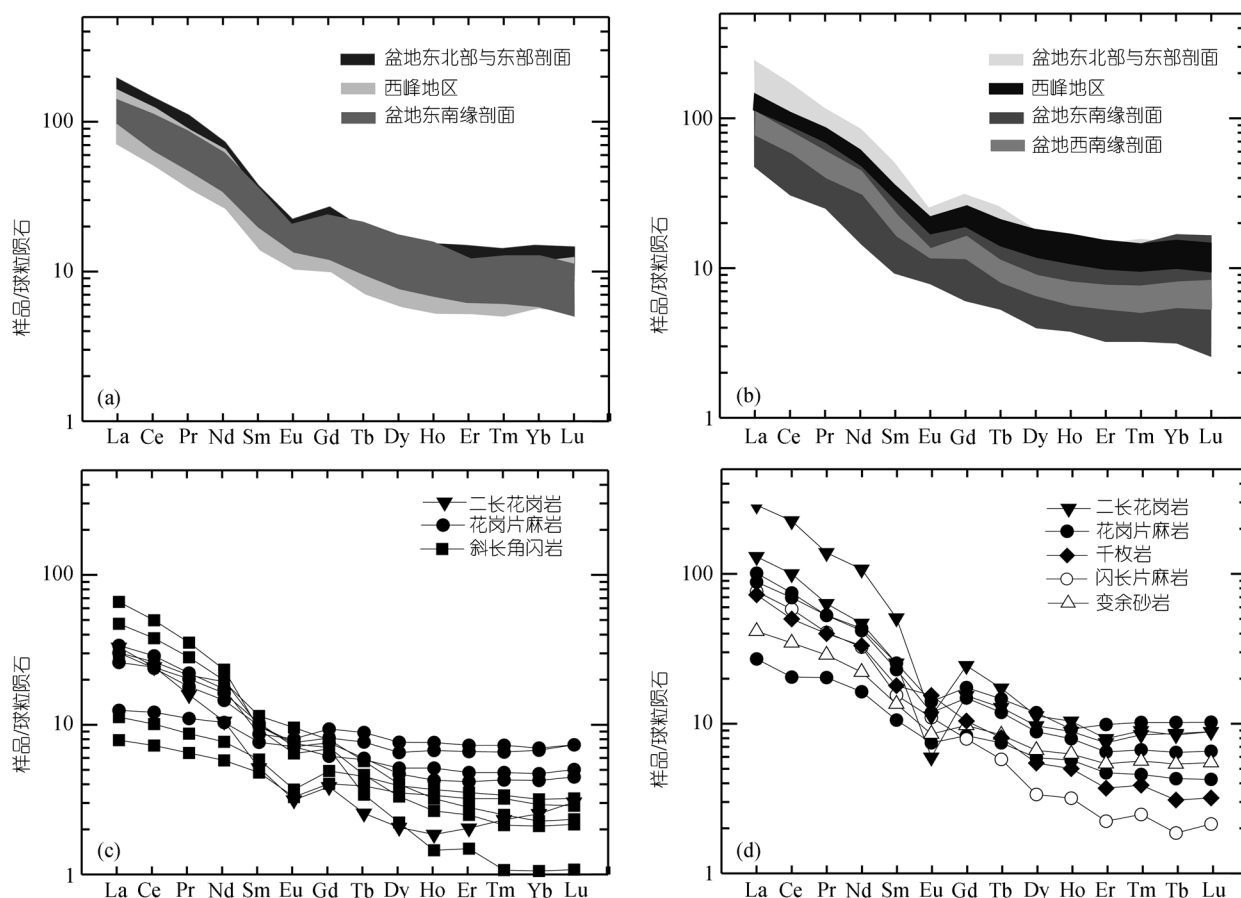


图 7 盆地周缘露头剖面与西南部长 8 与长 6 地层稀土元素图谱

稀土总量为 $\Sigma\text{REE}=(28.28\sim369.79)\times10^{-6}$ (平均 101.54×10^{-6}), $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=2.17\sim63.52$ (平均 13.24), $\delta\text{Eu}=0.29\sim1.46$ (平均 0.89).

与盆地西南缘中元古代地层相比, 盆地东北缘 8 组前寒武系结晶基底花岗片麻岩、二长花岗岩、闪长片麻岩、千枚岩、变余砂岩的稀土特征也表现为轻、重稀土分馏明显的右倾谱型(图 7(d), 但稀土元素总量变化很大, $\Sigma\text{REE}=(82.5\sim676.57)\times10^{-6}$ (平均 240.02×10^{-6}), $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=6.36\sim41.60$ (平均 18.02), $\delta\text{Eu}=0.29\sim1.09$ (平均 0.68). 轻、重稀土分馏及铕的负异常更明显.

因此, 盆地周缘各剖面 and 西峰地区长 8、长 6 段稀土元素基本都呈现了轻、重稀土分馏中等到强、铕负异常弱到中等的类似于大陆地壳的右倾稀土模式, 说明源区主要与分异较好的陆壳物质密切相关. 相比而言, 西峰地区长 8 地层的稀土元素特征与盆地东南缘剖面长 8 地层以及西南缘中元古代陇山群与葫芦河群表现出较强的一致性. 表明长 8 沉积物源主要来自盆地西南缘结晶基底的中元古界及相关地层. 与长 8 相比, 盆地周缘各剖面 and 西峰地区长 6 稀土总量变化范围较大, 铕的负异常及轻、重稀土分馏略强, 指示长 6 的源区较长 8 的源区复杂多样. 西峰地区长 6 稀土总量、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值和 δEu 值位于盆地西南缘

剖面长 6 地层和西南缘中元古界地层的上述值范围内, 并与盆地东北部与东部剖面长 6 地层上述值相近. 盆地东部区高稀土含量与盆地东北区高稀土组成相对应, 指示了与盆地东北缘前寒武系结晶基底有较好的亲缘关系. 由此推测, 长 6 沉积期的主体物质源区来自于盆地西南缘源区结晶基底地层, 盆地东北缘前寒武系结晶基底可能对长 6 地层也有贡献.

4.2 微量元素特征

研究表明, Nb/Ta, Th/U, La/Sm 和 Yb/Gd 及 Hf/Th 等微量元素比值的差异是不同地区沉积作用等造成的. 因此, 这些比值不但可以反映各地区沉积作用的不同, 还指示了沉积岩地球化学特征和各区域地球化学的习性, 并在一定程度上反映了源区母岩组成的不同¹⁾, 是沉积物源区的良好指示标志^[6,31].

长 6 与长 8 地层的 Nb-Ta, Th-U, La-Sm, Gd-Yb, Th-Hf 等元素比值图显示, 西峰地区长 8 样品与西南缘纳水河剖面同层位样品的投影区域一致, 并显示出与盆地西南缘中元古界葫芦河群和陇山群有较好的亲缘性(图 8). 西峰地区部分长 6 样品的投影点与西峰地区和纳水河剖面长 8 样品的投影区域重合, 但部分样品的投影区与盆地东北部露头剖面的长 8、长 6 样品及盆地东北缘前寒武系结晶基底岩石的投影区

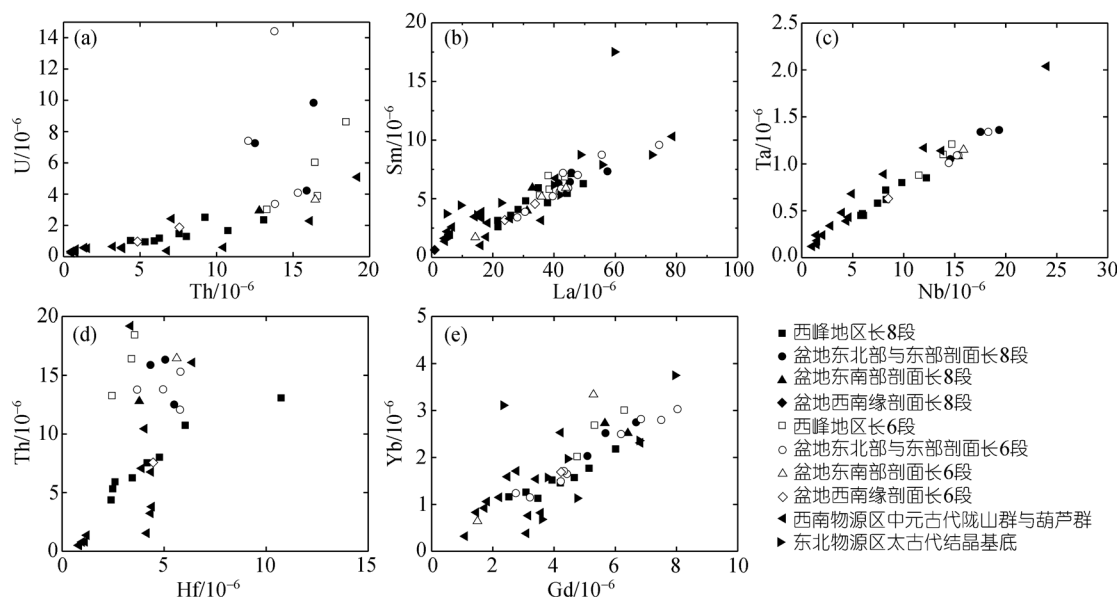


图 8 西峰地区长 6 与长 8 段和盆地西南缘与东北缘源区岩石微量元素比值图

(a) Th-U; (b) La-Sm; (c) Nb-Ta; (d) Th-Hf; (e) Gd-Yb

大致相当(图 8). 表明长 8 沉积期, 西峰地区与汭水河剖面具有相同的物源, 主要来自盆地西南缘中元古界葫芦河群和陇山群及相关地层; 长 6 沉积期, 除来自与长 8 沉积期相同的西南方向物源区外, 还有盆地东北缘前寒武系结晶基底岩石的输入.

5 源区母岩性质及构造背景讨论

5.1 源区特征

Gd, Yb 在沉积过程中受地质作用的干扰较小, 一经封闭到沉积地层中, 其含量就很难改变, 因而可用它们判别母岩的性质. 由于地球演化初期岩石中的 Gd 含量一般较高, 随时间演变和元素的分馏作用, 地层中 Gd 的含量趋于降低, Gd/Yb 比值也随地层时代的变新而逐渐变小. 通常, 太古代地层的 Gd/Yb 值多大于 2.0; 而后太古代地层则小于 2.0^[6].

盆地西南缘各剖面和西峰地区长 8 样品的 $w(\text{Gd}/\text{Yb})$ 值大于 2.0 的比例十分接近, 分别为 40% 和 40.9%. 西峰地区长 8 地层 $w(\text{Gd}/\text{Yb})$ 值大于 2 的样品主要分布在西南部与西部的镇原-西峰地区和太白梁-孟坝地区. 盆地东北部与东部剖面长 8 地层 $w(\text{Gd}/\text{Yb})$ 值大于 2.0 的比例(28.5%)与西峰地区差异较大. 表明西峰地区长 8 沉积期的物源主要来自盆地西南部, 源区母岩中太古代地层所占比例较高. 西峰地区与盆地西南缘剖面长 6 样品 $w(\text{Gd}/\text{Yb})$ 值大于 2 的样品(分别占 14.3% 和 12.5%)明显低于长 8 地层(分别占为 40.9% 和 40.0%). 表明长 6 沉积期, 西南方向物源区母岩中有较多后太古代物质的加入或者是原母岩区太古代地层提供的比例有所减少. 相比而言, 西峰地区长 6 样品 $w(\text{Gd}/\text{Yb})$ 值大于 2 的比例(14.3%)略高于

盆地西南缘剖面(12.5%), 而且 $w(\text{Gd}/\text{Yb})$ 值小于 2 的样品主要分布于西峰地区东北部与东部(悦乐-玄马-王家大庄地区、固城-合水-宁县地区); 盆地东北部与东部各剖面长 6 地层 $w(\text{Gd}/\text{Yb})$ 值大于 2 的样品为 29.3%. 由此推测, 长 6 沉积期, 西峰地区的东北部与东部在一定程度上受到了来自盆地东北部和东部源区母岩中较多后太古代地层的影响.

5.2 源区构造背景

沉积盆地与物源区的分布格局在很大程度上受大地构造的控制. 因此, 沉积盆地内沉积物碎屑组分及其结构特征与物源区的大地构造性质有着密切的联系^[32]. 根据研究区长 6、长 8 砂岩碎屑矿物定量统计结果, 利用 Dickinson^[33] 的陆相碎屑砂岩 Q_m -F-Lt 三角判别模式图对物源区的构造环境判别分析结果表明, 研究区大部分长 8 砂岩落在基底隆起陆块源区和过渡型大陆区, 少数点落在混合物源区(图 9(a)). 而长 6 样品均位于基底隆起陆块源区和过渡型大陆区(图 9(b)). 表明长 6 与长 8 沉积物源主要来自大陆地块的稳定地盾和地台或隆起陆块区. 砂岩主要为相对贫岩屑的石英长石砂岩, 尽管位于基底之上盖层中的岩石通过再旋回作用可以提供部分富岩屑成分^[34]. 与长 6 物源相比, 长 8 沉积物源区岩性相对较复杂, 除主要来自稳定大陆地块物源外, 部分物源来自再旋回造山带的沉积岩、火山岩和变质岩, 这些岩石通过褶皱和逆冲带的造山隆起而出露于地表. 从图 9(a) 可以看出, 西峰地区与盆地西南缘和东南缘剖面部分长 8 砂岩样品位于混合区和切割弧区(即再旋回造山区^[34]), 表明长 8 沉积期, 西南物源与东南物源

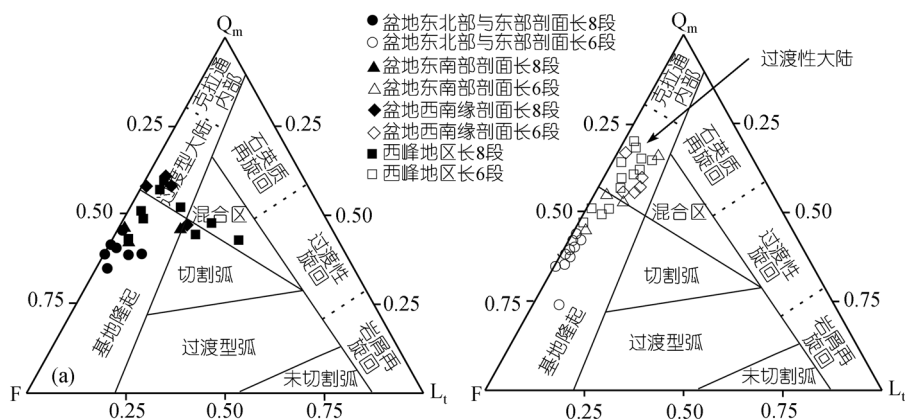


图 9 研究区长 8 (a) 与长 6 (b) 砂岩的 Q_m -F-Lt 图解^[23]

Q_m 示单晶石英颗粒; F 示单晶长石颗粒; Lt 示岩屑总量

中除了主要来自大陆地块的岩石外, 部分沉积物源来自与逆冲褶皱造山隆起带密切相关的再旋回造山带岩石。

5.3 源区母岩性质讨论

5.3.1 西南方向源区

三叠纪以来鄂尔多斯盆地西部紧邻祁连山—北秦岭的结合部位。晚三叠世鄂尔多斯盆地西南部的沉降和沉积过程与盆地西南缘造山带的快速抬升和东祁连向北东方向的推挤及其强烈褶皱逆冲作用具有密切的成因联系。由于盆地西南缘大幅度上升, 导致地形增高, 逆冲和推覆作用致使老地层较先被剥蚀, 形成与物源区层序相反的倒序型地层^[10]或不同时代地层相互混和在在一起的混和型地层。这与西峰地区长 8、长 6 地层的 $w(\text{Gd}/\text{Yb})$ 值显示的源区母岩即有太古代, 又有后太古代地层的特征吻合。盆地西南缘策底坡砾岩剖面中砾石以变基性火山岩(50%)、硅质岩和花岗岩(25%)为主, 少量石英岩、片岩和千枚岩等变质岩(14%)和灰岩、白云岩和泥灰岩等碳酸盐岩(10%), 基本与东祁连逆冲褶皱带及盆地西南缘古陆中的陇山群、李子园群和葫芦河群变碎屑岩、变基性火山岩地层及碳酸盐建造的岩性相吻合。由于盆地西南缘褶皱与逆冲带的造山抬升, 使东祁连—北秦岭结合部位及盆地西南缘古陆中的陇山群、李子园群和葫芦河群及其以上地层出露并遭受剥蚀, 成为鄂尔多斯盆地西南部地区延长组沉积期的丰富物源。相比而言, 长 6 地层中含较多后太古代地层, 说明长 6 沉积期鄂尔多斯盆地西缘抬升加剧, 地层剥蚀更强烈, 导致大量较新的后太古代地层加入源区, 从而使长 6 地层中后太古代地层的比例升高。由此推测, 长 8 与长 6 沉积期间, 盆地西南方向的物源主要来自于东祁连—北秦岭结合部位及盆地西南缘古陆中的陇山群、李子园群和葫芦河群^[13,14,34]及其上覆地层。该结论与源区特征与构造背景分析得出的结果一致, 即盆地西南部长 6 与长 8 沉积物源主要来自盆地西南缘大陆地块物源区和再旋回造山带物源区。

5.3.2 南部及东南方向源区

由于扬子地块自中三叠世以来向华北地块对接俯冲, 并于晚三叠世与华北陆块碰撞、拼合, 致使秦岭海槽最终碰撞造山隆升^[13,35-37], 使华北地块南缘太古代的太华群、中元古代的熊耳群、高山河群和洛

南群以及震旦纪—早古生代浅海相碳酸盐岩及碎屑岩地层成为剥蚀区。

盆地西南缘崆峒山砾岩中的砾石以白云岩和泥灰岩等碳酸盐岩(占砾石总量的 58.3%)、硅质岩、石英岩和燧石(28%)为主, 少量泥质粉砂岩、砂岩(13.7%), 其成分与华北地块南缘的震旦系—奥陶系灰岩和白云岩、二叠系—三叠系碎屑岩和东祁连逆冲褶皱带震旦—奥陶系的白云岩、砂页岩及二叠系—三叠系碎屑岩基本一致, 表明盆地南部与东南部物源可能来自于上述地层或其一。

5.3.3 东部与东北部方向源区

盆地东北缘隆起形成于印支—燕山期, 成为盆地内部有利的稳定物源供给区。西峰地区长 6 砂岩中的岩屑成分主要为变质岩和沉积岩, 重矿物以石榴石为主, 含岩浆成因的绿帘石、榍石、锆石和磁铁矿等, 显示源区岩石以变质岩和沉积岩为主, 少量岩浆岩, 与盆地东北缘古陆复向斜与复背斜中结晶基底与古生界盖层的岩性特征具有一定的相似性。据宋凯等的研究^[8], 鄂尔多斯盆地东北部的盐池—安边、志靖、安塞三角洲沉积体系的REE分布模式相同, 并与盆地东北缘结晶基底变质岩的REE分布模式一致。由此推测, 长 6 沉积期, 西峰地区东北部和东部地区可能有一定数量的、与安边、志靖、安塞三角洲沉积体系物源相同的、来自盆地东北缘陆块隆起剥蚀区结晶基底的变质岩、变质中—基性火山岩、花岗岩和变质碎屑岩及其上的古生界碎屑岩和碳酸盐沉积盖层。

6 结论

鄂尔多斯盆地西南部长 8 沉积物源主要来自盆地西南方向, 南部与东南部物源也有贡献。长 6 沉积物源除来自西南方向、南部与东南部方向物源外, 还受到来自盆地北东方向次要物源的影响, 悦乐—玄马—固城—合水—宁县地区为来自不同方向物源的汇合区。

盆地周缘剖面及西峰地区长 8 和长 6 地层基本都呈现了轻、重稀土分馏中等到强、弱到中等负异常的壳源右倾稀土模式。长 8 物源主要来自盆地西南缘以过渡型大陆和基底隆起陆块为代表的大陆地块物源区, 少量来自再旋回造山带。源区太古代变质岩地层所占比例较高, 母岩主要为东祁连—北秦岭接合部位和华北地块南缘的前震旦系地层, 其次为华北地块南缘的震旦系—奥陶系碳酸盐地层。长 6 除与长

8 具有相同物源区外, 还有来自盆地东北缘以基底隆起陆块为代表的大陆地块源区结晶基底的变质岩、变质中-基性火山岩、花岗岩和变质碎屑岩及其上的古生界碎屑岩和碳酸盐沉积盖层。与长 8 地层相比, 长 6 地层中含较多后太古代长英质物质表明, 长 6 沉积期盆地周缘、特别是盆地西缘抬升加剧, 地层的剥蚀更强烈致使大量较年轻的地层被剥蚀并加入源区母岩中。长 8 砂岩的岩屑以变质岩为主, 少量沉积岩和火成岩, 而长 6 砂岩岩屑则以沉积岩为主, 少量变质岩和火成岩这一事实也支持了上述结论。

致谢 中国科学院地质与地球物理研究所孟庆仁研究员、西北大学地质系张成立教授参与了本文野外露头剖面的调研工作, 长庆油田分公司勘探开发研究院提供了部分砂岩薄片鉴定资料和微量元素分析资料, 西北大学大陆动力学国家重点实验室王建琪与刘烨高级工程师对本文微量与稀土元素进行了分析与处理, 在此深表谢意。

参 考 文 献

- Haughton P D W. 沉积物源研究新进展. 周庆凡, 译. 海洋地质译丛, 1993, 3: 1—8
- Li Z m, Liu J J, Hu R Z, et al. Tectonic setting and nature of the provenance of sedimentary rocks in Lanping Mesozoic-Cenozoic Basin: evidence from geochemistry of sandstones. *Chin J Geochem*, 2003, 22(4): 352—362[DOI]
- 帕拉提·阿不都卡迪尔. 新疆萨勒布尔山火山碎屑沉积岩的地球化学和构造分析. *地球科学——中国地质大学学报*, 1999, 24(3): 278—281
- 邵磊, Stattegger K, 李文厚. 从砂岩地球化学探讨盆地构造背景. *科学通报*, 1998, 43(9): 985—88
- 邵磊, 刘志伟, 朱伟林. 陆源碎屑岩地球化学在盆地分析中的应用. *地学前缘*, 2000, 7(9): 297—304
- McLennan S M, Hemming S, McDaniel M J, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Jonhanson M J, ed. *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Boulder, Colorado: Geological Society of America Special Paper, 1993. 21—40
- 魏斌, 魏红红, 陈全红, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组物源分析. *西北大学学报*, 2003, 33(4): 447—450
- 宋凯, 吕剑文, 杜金良, 等. 鄂尔多斯盆地中部上三叠统延长组物源方向分析与三角洲沉积体系. *古地理学报*, 2002, 4(3): 59—66
- 刘少峰, 柯爱蓉, 吴丽云, 等. 鄂尔多斯西南缘前陆盆地沉积物物源分析及其构造意义. *沉积学报*, 1997, 15(1): 156—160
- 刘少峰, 杨少恭. 鄂尔多斯盆地西缘南北差异及其形成机制. *地质科学*, 1997, 32(3): 397—408
- 宋志高. 祁连山东段的元古宙陇山群. *地球学报*, 1995, (2): 204—210
- 扬忠明, 杨宪恂. 再论祁连-北秦岭结合部位晚古生代地层划分. *甘肃地质学报*, 2002, 11(2): 1—4
- 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律. 北京: 石油工业出版社, 2002
- 周鼎武, 李文厚, 张云翔, 等. 区域地质综合研究的方法与实践: 鄂尔多斯盆地-秦岭造山带地质野外实习指导书. 北京: 科学出版社, 2002
- 赵重远, 刘池洋. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存. 西安: 西北大学出版社, 1990
- McPerson J G, Shanmugam G, Moiola R J. Fan-deltas and braid deltas: Varieties of coarse-grained deltas. *Geol Soc Am Bull*, 1987, 99: 331—340[DOI]
- Leeder M R. *Sedimentology and Sedimentary Basins*. United Kingdom: Blackwell Publishing Company, 1999. 77—100, 330—339
- Collinson J D. Alluvial sediments. In: Reading H G, ed. *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. United Kingdom: Blackwell Publishing Company, 2004. 37—82
- Reading H G, Collinson J D. Clastic coasts. In: Reading H G, ed. *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. United Kingdom: Blackwell Publishing Company, 2004. 154—231
- 武福礼, 李文厚, 李玉宏, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化. *古地理学报*, 2004, 6(3): 307—315
- Gao S, Ling W L, Qiu Y, et al. Contrasting geochemical and Sm-Nd isotopic composition of Archean metasediments from Kongling high-grade terrain of the Yangtze Craton: evidence from cratonic evolution and redistribution of REE during crustal anatexis. *Geochem Cosmochim Acta*, 1999, 63: 2071—2088[DOI]
- Folk R L. The natural history of crystalline calcium carbonates: effect of magnesium content and salinity. *J Sediment Petrol*, 1974, 44: 40—50
- Boynton W V. Geochemistry of rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P, ed. *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier Science Publishers, 1984. 63—114
- Morton A C, Hallsworth C R. Processes of controlling composition of heavy mineral assemblage in sandstones. *Sediment Geol*, 1999, 124: 3—29[DOI]
- Eynatten H, Gaupp R. Provenance of Cretaceous synorogenic sandstones in the Eastern Alps: constraints from framework petrography, heavy mineral analysis and mineral chemistry. *Sediment Geol*, 1999, 124: 81—111[DOI]
- 周建文, 宋丽红, 孙峥嵘, 等. 博湖湖陷侏罗系重矿物特征及物源探讨. *河南石油*, 2002, 16(1): 20—22
- 李珍, 焦养杰, 刘春花, 等. 黄骅坳陷高柳地区重矿物物源分析. *石油勘探与开发*, 1998, 25(6): 5—7
- Rollinson H R. *岩石地球化学*. 杨学明, 等译. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000
- McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin B R, Mckay G R, eds. *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*. Reviews in Mineralogy, 1989, 21: 169—200
- Rollinson H R. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Singapore: Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd, 1993. 352
- 杨守业, 李从先. REE 示踪沉积物物源研究进展. *地球科学进展*, 1999, 14(2): 164—167
- Cullers R L, Basu A, Suttner L J. Geochemical signature of provenance in sand-mixed material in soils and stream sediments near the Tobacco Root Botholith, Montana, USA. *Chem Geol*, 1988, 70: 335—348[DOI]
- Dickinson W R, Beard L S, Brakenridge J L, et al. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geol Soc Am Bull*, 1983, 94: 222—235[DOI]
- 刘锐娥, 黄月明, 卫孝峰, 等. 鄂尔多斯盆地北部晚古生代物源区分析及其地质意义. *矿物岩石*, 2003, 3(3): 82—86
- 张二朋, 主编. 西北区区域地质. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998
- 张国伟, 等著. 秦岭造山带的形成及其演化. 西安: 西北大学出版社, 1987
- 陈世悦. 华北地块南部晚古生代-三叠纪盆地耦合关系. *沉积与特提斯地质*, 2000, 20(3): 37—43